

间隔交替波涌灌溉对冬小麦土壤水分与水分利用效率的影响

辛 琪, 林少喆, 王妮娜, 荣 旭, 李宗毅, 王春堂*
(山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018)

摘 要:【目的】了解间隔交替波涌灌溉对水流推进速度和灌水质量的影响,探究其替代波涌灌溉的可行性。【方法】以冬小麦为研究对象,设置波涌灌溉组(S)、间隔交替波涌灌溉组(AS)、间隔固定波涌灌溉组(FS)以及连续灌溉组(C)4个处理,分析比较了不同灌溉处理对水流推进速度、灌水均匀度、水分利用效率及小麦产量的影响。【结果】波涌灌溉处理下的水流推进速度明显快于连续灌溉的。4种处理下的灌水均匀度S处理为最佳,均值具体表现为:S处理>AS处理>FS处理>C处理;冬小麦产量均值表现为:AS处理>S处理>FS处理>C处理,其中与S处理、FS处理相比,AS处理有更好的增产效果;3种波涌灌溉方式的水分利用效率均值表现为:AS处理>FS处理>S处理,较C处理依次提高了43.84%、28.76%、26.03%。【结论】间隔交替波涌灌溉可显著提高水分利用效率,在山东泰安对冬小麦采用间隔交替波涌灌溉可以取得明显的节水增产效果。

关 键 词:波涌灌溉; 水流推进速度; 灌水均匀度; 冬小麦; 水分利用效率

中图分类号: S512

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180202

辛琪,林少喆,王妮娜,等. 间隔交替波涌灌溉对冬小麦土壤水分与水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报,2019,38(1):21-25.

0 引 言

小麦是我国山东省主要粮食作物,干旱缺水和水资源浪费严重制约着小麦产业的发展,因此发展高效的节水灌溉技术已成为山东省应对水资源短缺的必然选择^[1]。目前,我国灌溉方式主要有沟灌、漫灌、喷灌、滴灌等。漫灌浪费水现象严重,滴灌虽然节水效果明显,但是灌水均匀度较差^[2]。控制性交替灌溉是康绍忠等^[3]提出的一种新的农田节水调控技术,汪顺生等^[4]指出该灌溉方式能够减小无效蒸腾,提高叶片的水分利用效率。波涌灌溉的研究主要针对大田密植型作物展开。彭立新等^[5]研究表明,波涌灌溉的节水增产效果明显,波涌灌溉能够降低水分渗漏,提高土壤水分的有效利用;白丹等^[6]把波涌灌溉和低压管道灌溉2种节水灌溉技术有机结合在一起,但是没有进行大田试验验证其实用性;王杰^[7]对波涌灌溉换向阀驱动装置的相关研究发现,波涌阀适用于小定额灌水,但该装置没有用在多种波涌灌溉处理上,也没有在大田试验中得到验证甚至推广应用。目前还没有把波涌灌溉和间隔灌溉结合起来进行灌溉试验研究,因此,将波涌灌溉和间隔灌溉2种灌溉方式结合起来形成间隔交替波涌灌溉及间隔固定波涌灌溉,实现控制性根系分区交替灌溉,探究波涌灌溉、间隔固定波涌灌溉、间隔交替波涌灌溉3种灌溉方式对水流推进速度、灌水均匀度、小麦生长及产量的影响,以期为间隔交替波涌灌溉的推广提供理论依据,旨在发展更高效的节水灌溉技术。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2015年10月—2016年6月在山东省泰安市马庄镇试验田(36°0'5"N,117°0'20"E)进行,试验田位于华北平原井灌区,土壤类型为壤土,地下水埋深为6.8 m,故可忽略地下水补给。田间持水率32.5%(体积含水率),干体积质量为1.37 g/cm³,孔隙度为57%。耕作方式为冬小麦-夏玉米连作。冬小麦生育期内降水

收稿日期:2018-04-04

基金项目:山东省科技发展计划项目(2014GNC112005);山东省自然科学基金项目(ZR2017MEE001)

作者简介:辛琪,女。硕士研究生,主要从事灌排理论与技术等方面的研究。E-mail: 1849024727@qq.com

通信作者:王春堂,男。副教授,硕士生导师,主要从事灌排理论与技术、泵站理论与技术等方面的教学科研工作。E-mail: slx@sdaa.edu.cn

总量为432.7 mm,全年平均日照时间为2 627.1 h,无霜期平均为195 d。0~20 cm土层碱解氮、速效钾、速效磷量分别为108.1、92.4和161.1 mg/kg。

1.2 试验设计

试验区布置如图1所示,畦长120 m,畦宽1.5 m,坡度2.5%。试验共设置4个处理,每个处理3个重复,每个处理两侧为保护行,试验共布置18个田畦,其中1~3为连续灌溉组(C),4~6为波涌灌溉组(S),7~12为间隔交替波涌灌溉组(AS),13~18为间隔固定波涌灌溉组(FS)。考虑畦长、土壤质地及方便推广应用,试验中波涌灌溉、间隔固定波涌灌溉及间隔交替波涌灌溉周期数取2,循环率取0.5。连续灌溉灌水时间为40 min,波涌灌溉单周期灌水时间为15 min,考虑间隔交替波涌灌溉及间隔固定波涌灌溉是隔畦灌溉,侧向渗漏问题较严重,单周期灌水时间取20 min。试验中间隔交替波涌灌溉是指奇偶畦交替灌溉,间隔固定波涌灌溉是指奇数畦重复灌溉。供试小麦品种为济麦22,播种量为182.9 kg/hm²,基本苗为422.39 万株/hm²。播种前施基肥:有机肥600 kg/hm²(N、P、K质量分数≥5%,有机质质量分数≥45%),复合肥750 kg/hm²(N、P、K质量分数分别为15%、10%、10%)。施肥方式均为撒施。试验分别在出苗期、拔节期和灌浆期进行了3次灌溉,试验流量稳定控制在45 m³/h,单宽流量为8.33 L/(s·m)。小麦于2015年10月14日播种,2016年6月7日收获。

C			S			AS						FS					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

图1 试验区布置情况

1.3 观测指标与方法

1)水流推进速度:灌溉时用秒表记录水流每推进10 m所耗时间,以此计算水流推进速度。

2)土壤含水率:在各试验畦上沿畦长方向在40、80、120 m处选定3个取样点,采用德国生产的便携式土壤水分测量仪TRIME-PICO TDR,在灌前3 d,灌后第2、6、16、28天测定0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm土层土壤含水率。

3)产量:收获时,每个试验畦田在距畦首40、80、120 m处选取1 m双行小麦调查有效穗数,然后随机选取其中10株小麦进行穗粒数和千粒质量的测量。

4)干物质量:各试验畦田随机选取具有代表性的冬小麦10株,将其放入烘箱中105℃杀青30 min,75℃烘干至恒质量并采用精度0.01 g的天平称质量。

5)群体生长率计算式^[2]为:

$$\lambda = (W_2 - W_1) / T, \quad (1)$$

式中: λ 为群体生长率(g/(m²·d)); W_1 和 W_2 为前后2次测定的干物质量(g/m²); T 为前后2次的时间差(d)。

6)灌水均匀度计算式^[7]为:

$$C_u = 1 - \overline{\Delta\theta} / \bar{\theta}, \quad (2)$$

$$\overline{\Delta\theta} = \sum_{i=1}^N |\theta_i - \bar{\theta}| / N, \quad (3)$$

式中: C_u 为均匀系数; $\bar{\theta}$ 为平均土壤含水率; $\overline{\Delta\theta}$ 为每个取样点的实际土壤含水率与平均值之差的绝对值的平均值,即平均差; θ_i 为每个取样点的实际土壤含水率; N 为取样点个数。

7)水分利用效率计算式^[2]为:

$$WUE = Y / ET, \quad (4)$$

式中: WUE 为作物水分利用效率(g/(m²·mm)); Y 为作物产量(g/m²); ET 为整个生育期内的耗水量(mm)。

1.4 数据处理与分析方法

采用Microsoft Excel 2010进行数据处理和作图,采用DPS进行统计分析,LSD法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水流推进速度的影响

各处理不同时期水流推进速度如图2所示。由图2(a)可知,出苗期,S处理第1周期的水流推进速度与C处理差别不大,第2周期速度明显快于C处理,分别是C处理的1.19倍与2.28倍。其原因可能是水流在经过波涌灌溉第1周期后,改变了土壤表层的微粒结构,形成了致密层,减少了水分的下渗,缩短了水流向前推

进的时间,从而加快了波涌灌溉第2周期水流推进速度;AS处理与FS处理水流推进速度没有明显差别,均慢于S处理,约是S处理水流推进速度的0.85倍。这与间隔交替波涌灌溉和间隔固定波涌灌溉存在侧向渗透有关。由图2(b)与图2(c)可知,在拔节期与灌浆期,水流推进速度几乎一致,FS处理的水流推进速度略快于AS处理,但都慢于S处理,约是S处理的0.86倍。C处理与S处理在水流推进速度上的差别与出苗期一致,即S处理的第1周期与C处理没有明显差别,第2周期快于C处理。从出苗期到拔节期,4种处理下的水流推进速度都有所减慢,一方面可能与小麦群体密度增加有关,随着小麦群体密度的增大,水流推进受到的阻力也会变大,整体上削弱了水流推进速度;另一方面可能是因为出苗期灌溉前的初始土壤含水量高于拔节期灌溉前的初始土壤含水量。

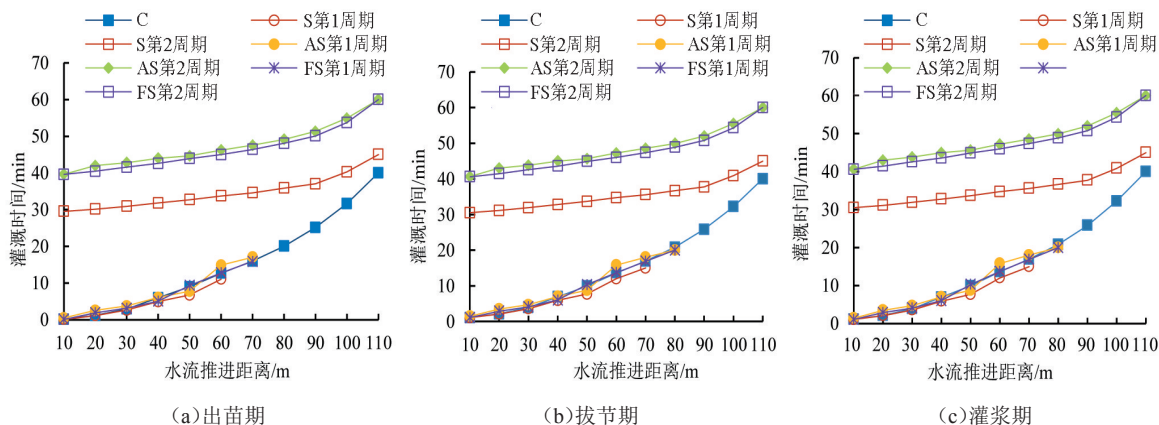


图2 各处理不同时期水流推进速度

2.2 不同处理对灌水均匀度的影响

各处理的灌水均匀度如图3所示,图中不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。由图3(a)可知,在0~60 cm土层内,灌水均匀度总体表现为S处理>AS处理>FS处理>C处理。AS处理及FS处理灌水均匀度较差是受侧向渗透的影响,二者灌水均匀度分别较S处理低0.94%、1.53%。C处理在第6天灌水均匀度达到最大值且均大于AS处理与FS处理的灌水均匀度,但是在灌水后的其他时间点,其灌水均匀度均低于AS处理与FS处理,且灌水均匀度在达到最大值后下降幅度最大,说明连续灌溉改善土壤水分均匀度的效果不能维持较长时间;由图3(b)可知,在0~100 cm土层内,灌水均匀度总体表现为S处理>AS处理>FS处理>C处理。S处理及AS处理灌水均匀度分别较C处理高3.01%、2.04%。S处理灌水均匀度在第6天达到最大值后,其下降幅度较其他3个处理也较缓慢。同一土层深度内灌水均匀度随着灌溉后时间推移出现了先增大后减小的趋势,在灌后第6天左右灌水均匀度达到最大值,随后灌水均匀度开始下降。但在灌水后第28天灌水均匀度仍然略高于灌前水平约1.32%,说明灌溉能提高土壤水分均匀度。与0~60 cm土层相比,0~100 cm土层灌水均匀度随着时间变化幅度较平缓。

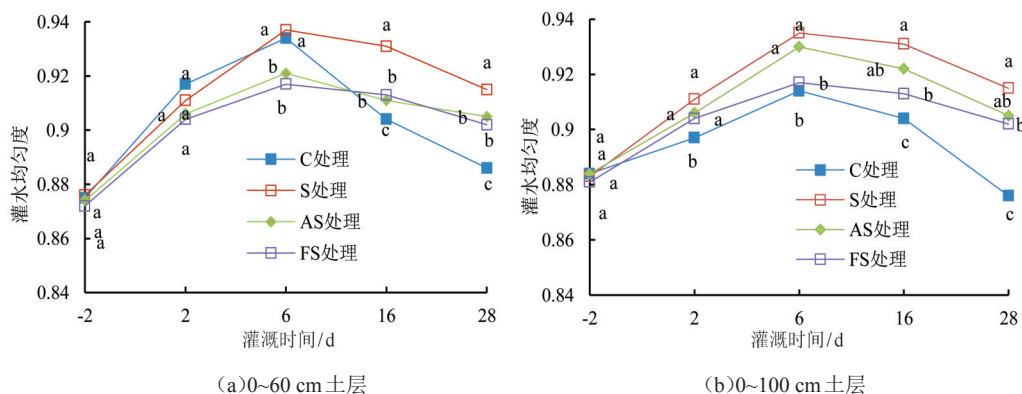


图3 不同处理灌水均匀度

2.3 不同处理对干物质质量及群体生长率的影响

不同处理对冬小麦干物质质量和群体生长率的影响见表1。由表1可知,在冬小麦返青期、拔节期、抽穗期及成熟期中,干物质质量总体呈现增长趋势。在返青期S处理及AS处理的干物质质量低于C处理,但在其他3个时期S及AS处理都明显高于其他处理。与C处理相比,在拔节期、抽穗期及成熟期S处理的干

物质质量分别提高了55.13%、25.92%、25.28%，AS处理分别提高了51.45%、19.17%、22.29%。不同灌溉处理对小麦干物质积累有显著影响，总体表现为S处理>AS处理>FS处理>C处理，S处理与AS处理差异不显著。在冬小麦返青期、拔节期、抽穗期及成熟期中，群体生长率总体上是先增大后减小。返青期，4种灌溉处理对群体生长率的影响没有显著性差异，但是在拔节期、抽穗期及成熟期S及AS处理较C处理都保持了明显优势。在拔节期、抽穗期及成熟期，与C处理相比，S处理的群体生长率分别提高了52.94%、27.12%、25.71%，AS处理的群体生长率分别提高了52.94%、20.34%、22.86%。不同灌溉处理对冬小麦的群体生长率总体表现为S处理>AS处理>FS处理>C处理，其中S处理与AS处理在4个生育期对群体生长率影响差异不显著。

表1 各处理的冬小麦干物质质量和群体生长率

处理	干物质质量/(g·m ²)				群体生长率/(g·d ⁻¹ ·m ²)			
	返青期	拔节期	抽穗期	成熟期	返青期	拔节期	抽穗期	成熟期
C	1.49a	5.17c	11.84b	14.08b	0.03a	0.17b	0.59b	0.35b
S	1.18b	8.02a	14.91a	17.64a	0.02a	0.27a	0.75a	0.44a
AS	1.26b	7.83a	14.11a	17.26a	0.03a	0.26a	0.71a	0.43a
FS	1.28b	5.54b	12.05b	15.66a	0.03a	0.18b	0.60b	0.39a

注 同列数据后字母表示各处理差异显著性水平，P<5%，下同。

2.4 不同处理对产量及水分利用效率的影响

不同处理冬小麦产量及水分利用效率见表2。由表2可知，C、S及FS处理在穗数上都低于AS处理，总体表现为AS处理>S处理>FS处理>C处理，其中C处理、S处理与FS处理间穗数差异不显著；穗粒数上S处理明显高于C、AS、FS处理，分别高出68.45%、22.28%、33.06%，总体表现为S处理>AS处理>FS处理>C处理；不同灌溉方式对千粒质量也有影响，总体表现为C处理>FS处理>AS处理>S处理，但AS处理与FS处理差异不显著；与C处理相比，S、AS及FS处理的产量分别提高了15.23%、18.42%、5.64%，S处理与AS处理差异不明显；不同灌溉方式对水分利用效率产生显著影响，与C处理相比，AS、FS及S处理的水分利用效率分别提高了43.84%、28.76%、26.03%，AS处理提高水分利用效率效果为最佳。

表2 各处理的冬小麦产量及水分利用效率

处理	穗数/m ²	穗粒数	千粒质量/g	产量/(g·m ²)	耗水量/mm	WUE/(g·m ⁻² ·mm ⁻¹)
C	326.68b	27.07c	36.98a	327.01c	450.1a	0.73c
S	330.68b	45.60a	24.99c	376.80a	408.8b	0.92b
AS	368.00a	36.80b	28.60b	387.26a	367.1c	1.05a
FS	329.32b	34.27b	30.61b	345.47b	367.1c	0.94b

3 讨 论

水流推进速度是衡量灌溉效果的一个重要指标。孙晓琴等^[8]研究表明，波涌灌溉水流推进速度较连续灌溉有明显的改善效果，是连续灌溉的1.85倍左右。出苗期本试验中，S处理第1周期的水流推进速度与C处理差别不大，第2周期速度明显快于C处理，分别是C处理的1.19倍与2.28倍，整体上波涌灌溉水流推进速度是连续灌溉的1.74倍。间隔交替波涌灌溉及间隔固定波涌灌溉水流推进速度是波涌灌溉的0.85倍左右。间隔固定波涌灌溉及间隔交替波涌灌溉水流推进较慢是受水分侧向渗透的影响；聂俊等^[9]、罗春艳^[10]、海兴岩等^[11]研究表明，灌水均匀度能够反映灌溉水下渗深度及土壤水分再分布均匀程度，本试验中4种灌溉处理下的灌水均匀度总体表现为S处理>AS处理>FS处理>C处理。宰松梅等^[7]、黄红荣等^[12]、郭子锋等^[13]表明连续灌溉灌水均匀度较差是受水分蒸发的影响，连续灌溉灌水时间长，土壤水分蒸发大，表层土壤含水率小，水分下渗深度也大，从而导致了连续灌溉的灌水均匀度较差，这与孙晓琴等^[8]研究结果一致；刘水等^[14]、汪顺生等^[3]、宋明丹等^[15]、夏桂敏等^[16]表示水分缺乏会抑制小麦对氮素的吸收，而氮素是小麦叶绿素的重要组成部分，氮素的缺乏又会影响到小麦的光合作用，从而影响到小麦干物质的积累。本试验中拔节期、抽穗期及成熟期S处理及AS处理干物质积累量明显高于其他处理，究其原因可能是这2种灌溉处理产生的水分调节能够促进小麦对氮素的吸收，从而促进了小麦干物质质量积累，波涌灌溉及间隔交替波涌灌溉对小麦这类大田密植性作物均表现出了较好的适应性。水分作为小麦高产的基本保证之一，过量的水分进入田间如不能被小麦全部吸收利用，反而会增大水分蒸发，从而降低灌溉水的利用效率。已有研究表明^[3]，只要水分控制合理，交替隔沟灌溉可以通过气孔调节实现水分利用最优化，从而减小作物奢侈蒸腾，提高水分利用效率。本试验中，S处理与AS处理的产量水平差别不大，但是AS处理的耗水量低于S处理的，AS处理的水分

利用效率比S处理高出14.13%,说明间隔交替波涌灌溉造成的适度水分亏缺提高了冬小麦的水分利用效率,这与薄晓东等^[17]研究结果一致。试验验证了交替波涌灌溉的水分利用效率比普通波涌灌溉更高,即在节水的情况下,能获得较高的产量。

4 结 论

不同种波涌灌溉方式下,冬小麦对不同水分胁迫适应性不同。间隔交替波涌灌溉在穗数、产量及水分利用效率上均高于连续灌溉、波涌灌溉及间隔固定波涌灌溉。虽然间隔交替波涌灌溉产量与波涌灌溉差别不大,但水分利用效率明显高于波涌灌溉处理。返青期冬小麦对间隔交替波涌灌溉并不敏感,干物质积累量低,群体生长率也没有显著优势,但在拔节期、抽穗期及成熟期冬小麦对间隔交替波涌灌溉较为敏感,与冬小麦的物质积累及生长率的增益效果有密切关系。因此,可选择在拔节期、抽穗期对冬小麦进行间隔交替波涌灌溉。

参考文献:

- [1] 杨士红,王乙江,徐俊增,等.节水灌溉稻田土壤呼吸变化及其影响因素分析[J].农业工程学报,2015,31(8):140-146.
- [2] 张明智,牛文全,路振广,等.微润灌对冬小麦生长和水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(1):8-15.
- [3] 康绍忠,张建华,梁宗锁,等.控制性交替灌溉:一种新的农田节水调控思路[J].干旱地区农业研究,1997,15(1):1-6.
- [4] 汪顺生,费良军,孙景生,等.控制性交替隔沟灌溉对夏玉米生理特性和水分生产效率的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):115-119,138.
- [5] 彭立新,周和平,张荣,等.波涌灌溉节水增产效果分析[J].节水灌溉,2001(3):22-23.
- [6] 白丹,叶文宇,张建丰,等.虹吸式波涌管道灌溉技术的初步研究[J].农业工程学报,2006,22(1):179-181.
- [7] 王杰.波涌灌溉换向阀驱动装置设计及试验研究[D].太谷:山西农业大学,2016.
- [8] 宰松梅,仲峰,温季,等.大田地下滴灌土壤水分分布均匀度评价方法[J].农业工程学报,2009,25(12):51-57.
- [9] 孙晓琴,吴强,鞠茜茜,等.低压管灌条件下波涌畦灌灌水质量评价[J].灌溉排水学报,2016,35(6):54-58.
- [10] 聂俊,史亮亮,邱俊荣,等.有机肥和化肥配施对抛栽水稻群体干物质生产和产量的影响[J].西南农业学报,2016,29(3):579-583.
- [11] 罗春艳.滴灌灌水均匀度影响因素及计算方法[D].杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [12] 海兴岩,张泽,马革新,等.不同灌溉方式对棉花细根动态变化的影响研究[J].灌溉排水学报,2017,36(11):1-6.
- [13] 黄红荣,李建明,张军,等.滴灌条件下水肥耦合对番茄光合、产量和干物质分配的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(7):6-12.
- [14] 郭子峰,龚道枝,郝卫平,等.灌溉处理对冬小麦-夏玉米不同品种土壤水分和WUE的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(3):14-19.
- [15] 刘水,李伏生,韦翔华,等.分根区交替灌溉对玉米水分利用和土壤微生物量碳的影响[J].农业工程学报,2012,28(8):71-77.
- [16] 宋明丹,李正鹏,冯浩.不同水氮水平冬小麦干物质积累特征及产量效应[J].农业工程学报,2016,32(2):119-126.
- [17] 夏桂敏,褚凤英,陶洋,等.交替灌溉下不同水氮模式对大豆生长及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(2):49-52.
- [18] 薄晓东,薛景元,吴迪,等.隔畦交替灌溉灌水技术要素优化组合研究[J].灌溉排水学报,2014,33(Z1):118-122.

Effect of Alternate Surge Flow Irrigation on Soil Moisture and Water Use Efficiency of Winter Wheat Field

XIN Qi, LIN Shaozhe, WANG Nina, RONG Xu, LI Zongyi, WANG Chuntang*

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: 【Objective】 Surge flow irrigation is believed capable of improving irrigation uniform and hence irrigation water use efficiency. In this paper, we investigate the impact of alternate surge flow irrigation on soil moisture dynamics and water use efficiency of a winter wheat field. 【Method】 We studied four irrigation treatments: standard surge flow irrigation (S), alternate surge flow irrigation (AS), fixed surge flow irrigation (FS) and continuous irrigation (C). In each treatment, we measured the advancing speed of surface water front, irrigation uniformity, water use efficiency (*WUE*) and yield of the wheat. 【Result】 The advancing speed of the surface water front under surge flow irrigation was faster than that under continuous irrigation; S gave the best irrigation uniformity, followed by AS, FS and C sequentially. The AS gave the highest yield, followed by S, FS and C sequentially. Compared with C, AS, FS and S increased water use efficiency by 43.84%, 28.76% and 26.03% respectively. 【Conclusion】 Our results alluded that alternate surge flow irrigation is most effective in improving water use efficiency and yield and can be used to irrigate winter wheat in Tai'an region of Shandon province.

Key words: surge flow irrigation; water advancing speed; irrigation uniformity; winter wheat; water use efficiency

责任编辑:白芳芳